

Evaluación de una alternativa para reutilización de aguas grises domésticas

Evaluation of an alternative to reusing domestic graywater

Alison Sofía Estrada G¹.; Oscar Leandro Lucano V².

¹ Estudiante, Ingeniería Ambiental, Universidad de Nariño, Pasto, Nariño, Colombia, ali.eg2396@gmail.com

² Estudiante, Ingeniería Ambiental, Universidad de Nariño, Pasto, Nariño, Colombia, oscarlucano1@hotmail.com

RESUMEN

A partir de la problemática actual de escasez, y manejo insostenible del recurso hídrico en los niveles global, nacional y local, en concordancia con las directrices y normativas que fomentan el ahorro de agua potable y la reutilización de aguas grises, en la presente investigación, se evaluó una alternativa para la reutilización de aguas grises domésticas en el sanitario, para lo cual se requirió hacer una selección por medio del método del proceso analítico jerárquico (AHP) entre cuatro tecnologías disponibles en el mercado para el mismo fin las cuales son; El Gris, Aqus System, Ecoguardián y Brac System, de las cuales la mejor fue el Brac System con el 39% de puntuación, paso seguido dicha alternativa se adaptó e implementó en una vivienda de la ciudad de Pasto, para finalmente someterla a un proceso de seguimiento y optimización, los resultados fueron una reducción tanto del consumo de agua como del valor de la factura de acueducto de un 23% mensual durante el periodo de prueba, su funcionamiento fue adecuado y su mantenimiento periódico no presentó inconvenientes logrando realizarse de manera sencilla por los miembros del hogar, razón por la cual su acogida fue favorable.

Palabras clave: Aguas grises, alternativas para reutilización, método AHP.

ABSTRACT

Based on the current problem of scarcity, and the unsustainable management of water resources at the global, national and local levels, also in accordance with the guidelines and regulations that promote the saving of drinking water and the reuse of gray water, in the present investigation, an alternative was evaluated for the reuse of domestic gray water in the toilet, for which it was required to make a selection among four technologies available in the market; El Gris, Aqus System, Ecoguardián and Brac system, the above was done through the selection of experts using the method of the hierarchical analytical process (AHP), then it was converted to the selected technology and implemented in a house in Pasto city, then submit it to a process of monitoring and optimization, the results were a reduction in both water consumption and the value of the aqueduct bill of 23% per month during the trial period, its operation was adequate and its periodic maintenance not presented inconveniences that make it easy for members of the household to use, which is why their reception is favorable.

Key words: gray water, alternatives to reuse, AHP method.

INTRODUCCIÓN

Actualmente, existe una problemática global tanto de escasez como de mala calidad del agua, la cual surge de la combinación entre la variabilidad hidrológica y el alto uso humano (UNESCO, 2016). A nivel local según información presentada por la Empresa de Obras Sanitarias de Pasto (EMPOPASTO) en el Foro Nariño Biodiverso (HUMBOLDT y Gobernación de Nariño, 2017), se prevé que a partir del año 2025, se puede presentar un déficit en el suministro de agua para la ciudad de Pasto debido problemas de infraestructura y de oferta de las fuentes abastecedoras.

Por otro lado, en diferentes lugares del mundo se han adelantado programas para el uso racional del agua, enfocados en mitigar las graves afectaciones que se han provocado en este recurso derivadas del desperdicio y la contaminación, también se ha trabajado en acciones como el aprovechamiento de las aguas grises generadas en actividades domésticas y productivas (UNESCO, 2012).

En relación con lo anterior, a nivel general se han desarrollado directrices y normativas como los Objetivos de Desarrollo Sostenible CEPAL-ONU (2018), que en sus metas 6.A y 6.3, proponen el fomento de reciclado y tecnologías para la reutilización del agua, en concordancia, las aguas grises domésticas se han comenzado a utilizar en varios países para usos que no requieren agua de calidad, como para riego de jardines, limpieza de patios, terrazas y para la evacuación del inodoro, logrando con esto beneficios significativos ya que la reutilización conlleva a una disminución que oscila entre el 30 y 50 % en el consumo de agua potable en las viviendas (EMRC, 2011).

Mientras que en el contexto nacional y local la Ley 373 del Congreso de Colombia (1997), estableció los Planes de Uso Eficiente y Ahorro de Agua (PUEAA), y por su parte la Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial de Colombia (MAVDT, 2010), tienen como estrategia el uso eficiente y sostenible del agua, orientándose a fortalecer la implementación de procesos y tecnologías adecuadas para tal fin.

Además en la Resolución 549 del Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio (MINVIVIENDA, 2015), se reglamentaron los parámetros y lineamientos para la construcción sostenible y se adoptó la guía para ahorro de agua y energía en edificaciones, teniendo como uno de sus objetivos principales, incluir dentro los requerimientos para la aprobación de la licencia de construcción para edificaciones nuevas, sistemas que permitan un ahorro del 10 % en el consumo mensual de agua.

Por su parte, diversas investigaciones realizadas en Colombia al respecto (Kestler, 2004; Niño y Martínez, 2013; Ardila, 2013 y Espinal *et al.*, 2014), han desarrollado sistemas para el tratamiento y reutilización de aguas grises domésticas procedentes del lavamanos, duchas y lavadoras, excluyendo las procedentes del lavaplatos por considerarse más contaminadas según diferentes caracterizaciones de aguas grises domésticas estudiadas (Suárez *et al.*, 2012).

Es evidente que para las descargas del sanitario no es necesario utilizar agua potable ya que se trata de la evacuación de heces fecales y otros fluidos corporales que contaminan de inmediato cualquier tipo de agua que se utilice para ese fin. Dentro de los usos que no requieren agua de calidad, se encuentran la limpieza de vehículos, limpieza de calles y el llenado del tanque del inodoro (Salgot, 1994). Sin embargo a nivel internacional, algunos estándares en lo concerniente a parámetros de interés como presencia de coliformes en aguas reutilizables exigen el valor de unidades formadoras de colonias (UFC) en el rango de no detectable (ND), mientras que en países como Chile y Colombia la normatividad las acepta en un nivel bajo.

En ese sentido, en la presente investigación como objetivo general se planteó evaluar una alternativa para reutilización de aguas grises domésticas para descargar del sanitario, para ello, como objetivos específicos el primero fue diagnosticar las condiciones para el aprovechamiento de aguas grises en una vivienda de la ciudad de Pasto, el segundo fue seleccionar una alternativa para reutilización de aguas grises mediante consulta a expertos con el método del proceso analítico Jerárquico (AHP) y el tercero fue implementar la adaptación de la alternativa seleccionada en dicha vivienda, para posteriormente someterla a un proceso de seguimiento y optimización y así evaluar el ahorro de agua, dinero y funcionamiento durante el periodo de prueba correspondiente a cuatro meses.

MATERIALES Y MÉTODOS

El enfoque fue cuantitativo-descriptivo, puesto que se utilizaron datos de medición numérica para la cantidad de agua y dinero ahorrados por el sistema implementado y análisis comparativo-cuantitativo, para la selección de las alternativas.

El presente trabajo de investigación se desarrolló en la ciudad de San Juan de Pasto, la adaptación e implementación de la alternativa seleccionada llevó a cabo en una vivienda tipo unifamiliar del barrio Los Rosales.

El estudio se realizó en tres etapas sucesivas: la primera fue el diagnóstico, la segunda la selección de la alternativa de reutilización de aguas grises y la tercera comprendió la

implementación de la adaptación de dicha tecnología para su posterior optimización y evaluación.

Etapa de diagnóstico. Por medio de entrevista, mediciones y aforos realizados en el hogar seleccionado se procedió a recopilar la información correspondiente aspectos tales como, tipo de vivienda, área disponible para implementación de la alternativa, oferta de aguas grises, demanda de agua en el sanitario y valor promedio de la factura de acueducto.

Etapa de selección de la alternativa de reutilización de aguas grises domésticas. Mediante revisión de literatura, páginas web y contacto telefónico con proveedores, se establecieron cuatro tecnologías que se destinan al mismo fin es decir descargar el sanitario con aguas grises domésticas. Luego se procedió a hacer la selección de la mejor alternativa por medio de la consulta a tres expertos en las áreas de ingeniería civil, arquitectura e ingeniería sanitaria y ambiental mediante el método AHP, que consiste en la comparación pareada de criterios y alternativas utilizando una escala de valores, luego la normalización de los valores y a la operación de las matrices calificadas por los expertos en el programa Excel según lo planteado por Saaty (2008) y recomendado por Riaño y Palomino (2014), para finalmente obtener el ranking y la selección de la mejor alternativa.

Etapa de implementación y evaluación de la alternativa seleccionada. Una vez seleccionada la alternativa que para el caso fue el Brac system, se procedió a hacer la adaptación de dicha mediante los pasos consignados en la Tabla 1.

Tabla 1. Metodología para implementación y evaluación de la alternativa

Pasos		Descripción
Adaptación del diseño	del	Se basó en el esquema del Brac System adaptado a las condiciones y espacio de la vivienda.
Cálculo del tanque de acumulación	del de	Se utilizaron los datos de oferta de aguas grises y demanda de descargas del sanitario obtenidos en la fase diagnóstica.
Montaje		Se hizo basándose en técnicas básicas de plomería y siguiendo las recomendaciones del Código Colombiano de Fontanería NTC 1500 del ICONTEC (2017) y del libro de diseños hidráulicos y de plomería de Rodríguez (2005).
Seguimiento y optimización	y	Se empleó una tabla para consignar el problema presentado y la solución aplicada durante cada semana del periodo de prueba.
Evaluación ahorro de agua		Se instaló un medidor a la salida del tanque de acumulación para obtener la cantidad de agua gris utilizada por el sistema para descargar el sanitario equivalente a la cantidad de agua potable ahorrada. Las lecturas se hicieron

	mensualmente.
Evaluación de ahorro de dinero	Se obtuvo del producto de multiplicar la cantidad de metros cúbicos de agua gris empleada por el valor del metro cubico de agua facturado, además se sumaron los valores de la tarifa de alcantarillado y tasa retributiva que dependen del consumo mensual de agua.
Payback	Para el cálculo del payback o periodo de retorno de la inversión se tuvo en cuenta el costo tanto de materiales empleados en la construcción y optimización del sistema piloto, para ello se utilizó la fórmula recomendada por Ucañán (2015).

RESULTADOS

Diagnóstico. La vivienda, se encuentra en el barrio Los Rosales categorizado con estrato dos, en el cual existe un total de 72 viviendas de tipo unifamiliar con dos baños, El área del terreno de la casa es de 54 m², la primera planta consta de sala, comedor, cocina, garaje, patio y un baño social sin ducha, la segunda consta de tres alcobas y un baño con ducha y en la terraza está la zona de lavado de ropas con lavadero y lavadora, con un área libre de 30 m² de los cuales 20 m² se destinan para el secado de ropa quedando 10 m² disponibles para cualquier uso.

En cuanto al consumo, el promedio mensual de agua potable en el hogar (10 m³), está dentro del límite del consumo básico por suscriptor para municipios con altitud superior a los 2.000 msnm establecido en 11 m³ por la resolución 750 de la Comisión de Regulación de Agua y Saneamiento Básico (CRA, 2016), lo que indica un uso racional del agua en la vivienda, esto se debe a los buenos hábitos registrados como el cepillado dental utilizando un vaso de 0,25 L y el reducido tiempo destinado para el baño diario de seis minutos en promedio. El valor mensual de la factura de acueducto fue de \$ 25.000 en promedio durante los últimos seis meses. En la Tabla 2, se muestran los usos y consumos de agua calculados para los cuatro habitantes del hogar.

Tabla 2. Usos y consumos de agua en el hogar seleccionado.

Uso	Lavadora	Lavadero	Lavamanos	Ducha	Sanitario
Consumo (Lv/día)	80	13,5	11	96	67,2
Total oferta de aguas grises: 200,5 Lv/día					

Nota: Lv: litros/vivienda. Los consumos de lavadero, lavamanos y ducha se obtuvieron mediante 10 aforos para c/u y las frecuencias de cepillado dental, lavado de manos, lavado de ropa y descargas del sanitario mediante entrevista.

Información para los cálculos:

- Consumo de lavadora: 140 L/carga.
- Frecuencia de lavado ropa: 2 veces por semana de 2 cargas c/u.
- Capacidad de cisterna del sanitario: 4,8 L/descarga.
- Número de descargas diarias: 3-4 descargas/persona.
- Frecuencia lavado de manos 4 veces/persona (0,5 L c/u).
- Frecuencia de cepillado dental 3 veces/persona (0,25 L c/u).

Selección de la alternativa de reutilización de aguas grises domésticas. Para la preselección de las alternativas se tuvo en cuenta que puedan suplir las descargas del sanitario con aguas grises, y que estén disponibles en el comercio ya sea local o global, ver Tabla 3.

Tabla 3. Alternativas preseleccionadas

Alternativa	Descripción
El Gris	Sistema de paneles plásticos que se ubican en el piso de la ducha para recolectar el agua residual producto del baño de las personas, para luego de forma manual utilizarla para el sanitario, lavado de pisos y riego de plantas.
Aqus System	Sistema que recoge agua residual del lavamanos, posee un filtro y sistema de desinfección con pastillas de cloro y una bomba de agua eléctrica.
Ecoguardián	Plataforma plástica para ubicar en el piso de la ducha para recoger el agua del baño, consta de sistema de filtración, desinfección con pastillas de cloro y bomba de agua eléctrica.
Brac System	Sistema de planta de tratamiento de aguas grises compacta, recoge el agua de todos los puntos de la vivienda o edificio, para reutilizarla en sanitarios, lavado de pisos y riego de plantas, consta de filtrado y desinfección con cloro.

En la Tabla 4, se muestra el valor de adquisición de cada alternativa que incluye costos de compra, envío, instalación e insumos, todo lo anterior calculado para dos unidades sanitarias en una vivienda.

Tabla 4. Costo de las alternativas

Alternativa	Valor unitario	Valor 2 unidades	Mantenimiento-insumos 10 años	Valor total
El gris	450.000	900.000	100.000	1.000.000
Aqus system	1.050.000	2.100.000	400.000	2.500.000
Ecoguardián	1.350.000	2.700.000	400.000	3.100.000
Brac system	2.900.000	2.900.000	400.000	3.300.000

Nota: Valores en pesos Colombianos. El Brac System cotizado tiene la capacidad para abastecer desde una a cuatro unidades sanitarias.

Para la selección de los criterios, los expertos tuvieron en cuenta los diferentes escenarios que se pueden presentar para reutilización de aguas grises a nivel domiciliario, es decir tanto las viviendas ya existentes como los futuros desarrollos urbanísticos. En la Tabla 5, se muestran los criterios de selección establecidos en consenso por los expertos.

Tabla 5. Criterios de selección para alternativas

Criterio	Código	Descripción
Funcionalidad	FUN	Capacidad de la tecnología para funcionar por si misma
Eficiencia	EFI	Capacidad de la tecnología para satisfacer la demanda de descargas del sanitario optimizando los recursos.
Mantenibilidad	MANT	Capacidad de la tecnología para que su mantenimiento se pueda realizar de manera fácil por los miembros de la familia.
Portabilidad	PORT	Facilidad de la tecnología para ser cambiada de lugar o de vivienda.
Aspectos técnicos	ATEC	Que su implementación se pueda realizar en diferentes tipos de vivienda (individuales, torres de apartamentos, construidas y por construir) con el menor grado de dificultades técnicas.
Adaptabilidad prospectiva	ADAP	Capacidad de incluirse en el diseño de edificaciones futuras con la mayor eficiencia y estética.

En la Tabla 6, desde la columna dos hasta la siete, se observan los valores de preferencia de las alternativas dependiendo de cada criterio, en la columna ocho se encuentran los valores de los pesos de los criterios, de los cuales el más importante fue ADAP, ello obedece a que para futuras construcciones, es indispensable que la alternativa de reutilización se pueda incluir en diseño sin afectar la estética y optimizando los recursos en su implementación, en la última columna, está el resultado final de la multiplicación de la matriz de calificación de las alternativas con la matriz de pesos de los criterios, mostrando como mejor alternativa al Brac System seguida del Gris, el Ecoguardián y finalmente el Aqus System.

En cuanto a la razón de consistencia (RC), según Saaty (2001), debe ser inferior a 0,1 para garantizar que los juicios o calificaciones de las matrices pareadas hechas por los expertos sean consistentes, en el presente estudio, tanto para matriz de comparación de alternativas

como para matriz de comparación de pesos de los criterios, la RC siempre estuvo dentro de dicho valor.

Tabla 6. Resultados operación de matrices AHP para selección de alternativas

Criterio/ Alternativa	Fun	Efi	Mant	Port	Atec	Adap		Pesos de criterios		Puntaje	
Gris	0,06	0,30	0,30	0,52	0,52	0,06	X	Fun	0,08	=	0,27
Aqus	0,31	0,10	0,30	0,20	0,20	0,15		Efi	0,08		0,20
Ecog	0,31	0,30	0,30	0,20	0,20	0,18		Mant	0,08		0,24
Brac	0,31	0,30	0,10	0,08	0,08	0,62		Port	0,08		0,39
								Atec	0,23		
								Adap	0,45		
Total	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00		1,00		1,00	
RC	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,05		0,06			

Implementación y evaluación de la alternativa seleccionada. Los resultados de la etapa de implementación y evaluación de la alternativa seleccionada son los siguientes:

Paso 1. Adaptación del diseño. Teniendo en cuenta que la alternativa seleccionada Brac system, recoge las aguas grises de duchas, tinas y lavadoras posibilitando el uso del agua gris tratada no solo para el sanitario sino para riego de jardines y limpieza de pisos, para lo cual sería necesario un trabajo invasivo de redistribución de tuberías por toda la vivienda, en la presente investigación se optó por utilizar agua procedente únicamente de la lavadora para su uso exclusivo en el sanitario, esto con el fin de optimizar recursos e incomodar lo menos posible a la familia durante el proceso de montaje, además mediante acuerdo con la familia y buscando no afectar la estética de la casa se decidió hacer el montaje para un solo sanitario inhabilitando el otro durante el periodo de prueba. La adaptación de dicha tecnología se nombró como Sistema Piloto de Reutilización de Aguas Grises (SPILAG).

Por su parte AQUA España (2011) y Alvarado (2007), recomiendan no utilizar las aguas residuales del lavadero manual para que en este se laven las prendas más sucias y evitar mayor contaminación. En la Figura 1, se muestra el esquema del Brac y en la Figura 2, se muestra el esquema del SPILAG.

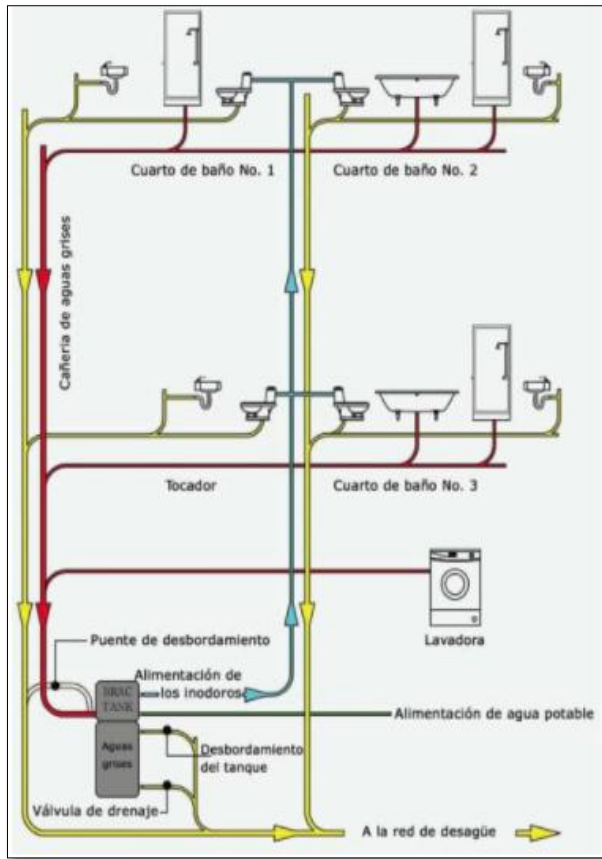


Figura 1. Esquema Brac System

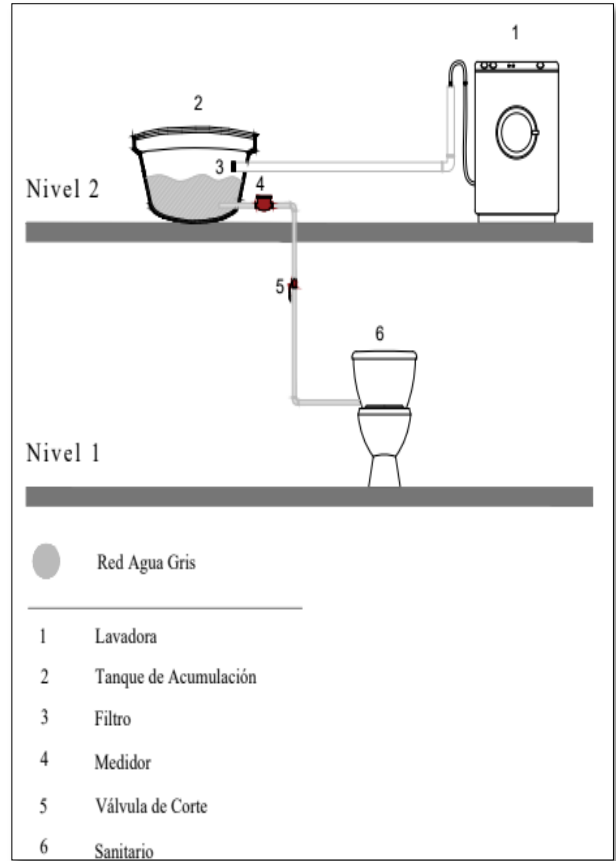


Figura 2. Esquema SPILAG

Paso 2. Cálculo del tanque de acumulación. Mediante información del diagnóstico obtenida en la vivienda seleccionada, el consumo en el sanitario se estableció en un promedio de 66,5 litros por vivienda/día. Lo anterior representa el volumen de agua requerido para un día, no obstante, se debió calcular para 3,5 días que es la frecuencia de lavado en el hogar y por ende equivalente al tiempo de recarga del tanque de acumulación, dando como resultado un volumen de 232 l.

Para comprobar si la oferta de aguas del lavado de ropas podía suplir la demanda del sanitario, se tuvo en cuenta la cantidad de agua proveniente de la lavadora, para ello se tomó como referencia la información de la ficha técnica de la lavadora marca Samsung modelo WB14N2 de 14 libras, con un consumo de 140 l. por carga. La oferta de agua del lavado corresponde a dos lavados de ropa de dos cargas c/u por semana equivalente a 560 l, o 280 l cada 3,5 días, con lo que se comprueba teóricamente que la oferta de aguas grises

suple la demanda del sanitario. Por su parte, se encontró en el comercio local disponibilidad de tanques con capacidad de 250 l, 500 l, 1000 l y 2000 l, por lo cual se optó por el de 250 l.

Paso 3. Montaje. El SPILAG consta de un tanque de acumulación y tuberías que permiten el almacenamiento y conducción de las aguas grises de la lavadora hacia el sanitario. El proceso en el SPILAG comienza con la recolección de las aguas grises procedentes de la lavadora las cuales se conducen por tubería tipo sanitaria PVC de 2" de diámetro, en cuya salida hacia el tanque de acumulación tiene un filtro, la distribución de las aguas grises hacia el sanitario se hizo en tubería tipo presión de 3/4" en la cual se instaló un medidor para registrar el volumen utilizado para el sanitario, además se instaló una válvula de corte para suspender el suministro por motivo de mantenimiento o avería del sistema.

En el tratamiento físico, el filtro instalado fue optimizado de acuerdo con las necesidades y problemas presentados en la etapa de operación, mientras que como tratamiento químico se aplicó desinfección con cloro en la cantidad de 4 mg/l de hipoclorito de sodio, equivalentes a 1g de ingrediente activo o a 20 ml en la presentación comercial al 5% por cada tanque de 250 l. La anterior dosificación, según lo recomendado por Alvarado (2007).





Paso 4. Seguimiento y optimización. Uno de problemas presentados durante el periodo de prueba fue la baja presión del sistema que dificultó el llenado de la cisterna, según la norma NTC 1500 del Instituto Colombiano de Normas Técnicas (ICONTEC, 2017), los nuevos equipos sanitarios funcionan con un rango de presión de entrada de agua entre 7 y 15 psi, por tal razón para que un sistema de reutilización por gravedad funcione correctamente se deberá ubicar el tanque de acumulación a la mayor altura posible con respecto a los sanitarios para alcanzar dicha presión.

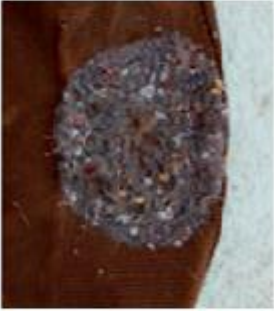




Por otra parte, se presentó obstrucción en el filtro que provocó rebose de aguas grises hacia el desagüe de la lavadora, asimismo se tuvo que instalar un suministro de agua potable para cuando no haya oferta de aguas grises, también se detectó la presencia de malos olores debidos a estancamiento prolongado en el tanque de acumulación, Allen (2015), señala que en aguas grises estancadas por más de 24 horas, la materia orgánica presente comienza a descomponerse generando malos olores. Por su parte, AQUA España (2011), recomienda dejar vacío el depósito de aguas grises y las cisternas de los sanitarios antes de marcharse, y




cuando se vuelva del viaje o vacaciones realizar vaciados del sanitario cuatro veces seguidas.

Finalmente se presentó la oportunidad de la incorporación de aguas lluvias al sistema, La UNESCO (2015), señala que las ventajas del uso del agua lluvia no son solo físicas, sino culturales y económicas, por lo que la captación in situ del agua pluvial deberá ser promovida. Sin embargo, las aguas lluvias pueden contener contaminantes químicos como el Pb, Cd, Zn y Cu que se desprenden del material de las cubiertas, además de material particulado acumulado en los tejados, no obstante, Torres (2011), en su investigación desarrollada en Bogotá, concluye que el agua lluvia de escorrentía sobre tejados podría ser adaptada para usos domésticos como vaciado de sanitarios y lavado de pisos y fachadas. Por la anterior razón se instaló un desarenador y un filtro para evitar el paso de impurezas. En la Tabla 7 se muestran los problemas presentados con la respectiva solución aplicada.

Tabla 7. Seguimiento y optimización del SPILAG

Sem	Problema		Solución	
1	La cisterna del sanitario no cargó debido a que la grifería interna requiere de una presión de entrada superior a 7 psi y el sistema solo tiene 2 psi.		Se cambió la grifería interna de la cisterna por una con flotador tipo pera en la cual normalmente se encuentra abierto el paso de agua y no requiere de presión de entrada.	
2	El llenado de la cisterna es muy lento, tardó en promedio 12 minutos, esto se debe a que la manguera de entrada es de un diámetro reducido (4 mm).		Se cambió la manguera por tubería PVC tipo presión de 3/4" de diámetro aumentando el caudal de entrada y reduciendo el tiempo de llenado a 3 minutos.	

3	El material de Elastano y Poliamida del filtro se obstruyó en promedio 8 veces por cada lavado de dos cargas de ropa impidiendo el paso del agua hacia el tanque acumulador, la limpieza del filtro resultó desagradable.		Se cambió el material del filtro malla textil de fibra de algodón con mayor diámetro de poros, 1,5 mm Aprox. Con este se obstruyó en promedio 4 veces por lavado de ropa, limpieza del filtro presentó mayor facilidad.	
4	El filtro continuó obstruyéndose, provocando evacuación lenta y rebose del desagüe de lavadora, limpieza del filtro continuó siendo incómoda.		Se instaló filtro con salida de mayor diámetro (4") en malla de polietileno de 2 mm de orificio, este se obstruyó una vez por cada lavado de ropa. Ya no hay rebose y mejoró limpieza.	
5	El sistema se quedó sin agua gris, debido a aumento temporal de descargas por visita presentada en el hogar.		Se instaló una válvula tipo push para inyectar agua potable, además se instaló una válvula cheque para evitar contaminación de la red de agua potable.	
6	Presencia de malos olores debidos a salida de la familia durante una semana, hecho que propició el estancamiento y posibles procesos de descomposición en las aguas grises.		Se realizó un lavado del tanque de acumulación y cisterna del sanitario acorde con la Guía Técnica GT3 de la OPS (2009). Se estableció que el lavado debe hacerse cada mes o cuando se perciban olores asociados a estancamiento prolongado de las aguas.	

7	Dificultad al lavar el tanque de acumulación debido a que este no tiene un desagüe en el fondo teniendo que retirar el agua de forma manual.		Se instaló de una válvula para desagüe para evacuar el agua por completo cuando se necesite lavar el tanque.	
8	Se presentó la oportunidad del aprovechamiento de aguas lluvias debida a la cercanía del tanque de acumulación con el canal recolector de la cubierta del techo de la vivienda.		Se hizo una conexión desde el canal que recibe las aguas lluvias de la cubierta de tejas de la vivienda por medio de tubería PVC de 2" hasta el tanque de acumulación del SPILAG.	

Desde la semana nueve hasta la semana 18, finalizado el cuarto y último mes de prueba, no se presentaron problemas, sin embargo debido al medidor instalado, el llenado de la cisterna tomaba en promedio tres minutos mientras que antes de la implementación era de 50 segundos, por tal razón se retiró el medidor con lo que se logró un tiempo promedio de llenado de dos minutos. Según Rodríguez (2005), las pérdidas de carga por medidores pueden ser hasta de 10 mca. En la Figura 3 se muestra el esquema del SPILAG optimizado.

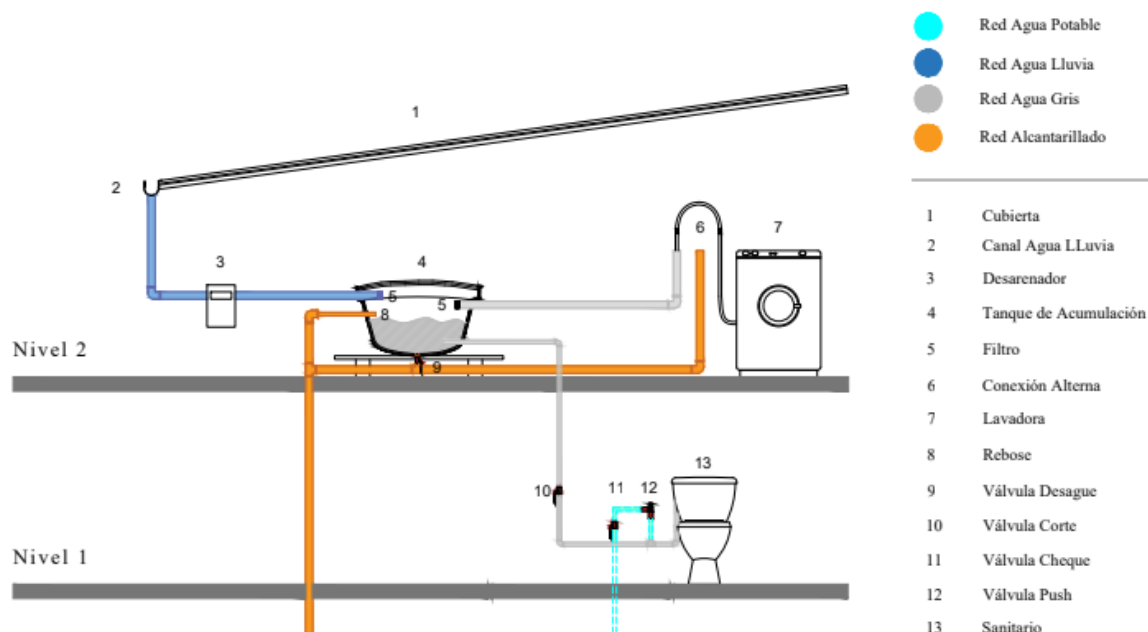


Figura 3. SPILAG optimizado

Paso 5. Evaluación de ahorro de agua. Como resultado del ahorro de agua con el SPILAG durante el periodo de prueba de cuatro meses, se obtuvo en promedio una cantidad de 2,3 metros cúbicos mensuales que corresponden al agua residual del lavado de ropas utilizada para la evacuación del sanitario, dicha cantidad se aproxima a la demanda para el tanque de un inodoro que según Fresenius *et al.* (1991), es de 20 litros / persona / día, equivalentes un gasto de 2,4 metros cúbicos por mes en una vivienda de cuatro personas.

En la Tabla 8, se muestra el consumo y a la vez el ahorro de agua con el SPILAG durante el periodo de prueba, se aclara que el medidor instalado en el sistema no era nuevo, por lo cual las lecturas no comienzan desde cero.

Tabla 8. Ahorro de agua en del sistema piloto durante el periodo de prueba

Periodo	Lectura inicial (m ³)	Lectura final (m ³)	Diferencia (m ³)
01-30 de junio	1073,7845	1075,9994	2,2149
01-31 de julio	1075,9994	1078,2365	2,2371
01-31 de Agosto	1078,2365	1080,7225	2,4860
01-30 de septiembre	1080,7225	1083,0057	2,2832
		promedio	2,3053

Tomando como referencia las facturas del acueducto de la vivienda, correspondientes al primer semestre del año 2017 justo antes del montaje de la alternativa, se pudo establecer un promedio de consumo de 10 metros cúbicos mensuales, mientras que durante el periodo de prueba fue de ocho metros cúbicos ver Figura 4. Tomando como referencia el volumen de 2,3 metros cúbicos mensuales de agua ahorrados con el SPILAG, esta cantidad corresponde al 23 % del consumo mensual, muy por debajo del 35% reportado por Ardila (2013), en su estudio sobre reutilización de aguas grises domésticas, sin embargo se acerca al porcentaje de consumo de las descargas del inodoro que según Li (2010), puede ser hasta



del 27%.

Figura 4. Ahorro de agua SPILAG

Paso 6. Evaluación de ahorro de dinero. El promedio de ahorro durante los cuatro meses del periodo de prueba fue de \$ 4.625 mensuales calculados para 2,3 metros cúbicos de agua gris gastada cada mes, que comprenden los valores de acueducto, alcantarillado y tasa retributiva por vertimientos, cuyas tarifas restando el 35% de subsidio correspondiente al estrato dos son de \$792, \$1.148 y \$ 71 respectivamente.

El ahorro de dinero en viviendas donde se implemente el sistema de reutilización, va a depender directamente del estrato ya que el precio por metro cúbico varía considerablemente debido a que en los estratos 1, 2 y 3 se aplica subsidio del 45%, 35% y 2

% respectivamente, el estrato 4 paga tarifa plena y los estratos 5 y 6 pagan un aporte o contribución correspondiente al 50% Y 60% respectivamente según lo establecido en el artículo 125 de la Ley 1450 del Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio (MINVIVIENDA, 2011), mediante la metodología planteada en el decreto 1013 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT, 2005), además la ventaja de reducir el consumo de agua en un hogar, es que también se reduce el valor de las tarifas del alcantarillado y tasa retributiva ya que dependen del metraje de agua facturado.

En la Tabla 9, se muestra la cantidad de dinero que se podría ahorrar en los diferentes estratos de la ciudad de Pasto, tomando como referencia los datos del SPILAG durante el periodo de prueba.

Tabla 9. Ahorro de dinero con el SPILAG.

Estrato	Subsidio Contribución	consumo mes (m ³)	Valor acueducto mes	Valor alcantarillado mes	Tasa retributiva	Total ahorro mensual
1	-45%	2,3	\$ 1.542	\$ 2.234	\$ 138	\$ 3.914
2	-35%	2,3	\$ 1.822	\$ 2.640	\$ 163	\$ 4.625
3	-2%	2,3	\$ 2.748	\$ 3.980	\$ 246	\$ 6.974
4	0,00	2,3	\$ 2.803	\$ 4.062	\$ 252	\$ 7.117
5	+50%	2,3	\$ 4.205	\$ 6.092	\$ 377	\$ 10.674
6	+60%	2,3	\$ 4.486	\$ 6.498	\$ 403	\$ 11.387

Nota: valor m³ de agua: \$1.219, valor m³ alcantarillado: \$1.766, valor tasa retributiva m³: \$ 109.

Paso 7. Payback. En la Tabla 10, se observa el periodo de retorno de la inversión del SPILAG tomando como referencia el promedio de agua ahorrado durante los cuatro meses del periodo de prueba y la inversión inicial de \$ 300.000.

Tabla 10. Payback o periodo de retorno de la inversión

Periodo en años	0	1	2	3	4	5	6
flujo de caja COP	300.000	55.500	55.500	55.500	55.500	55.500	55.500
Flujo acumulado COP	-300.000	-244.500	-189.000	-133.500	-78.000	-22.500	33.000
Payback: 5,4 años							

En la Tabla 11, se muestra el posible periodo de retorno para los diferentes estratos tomando como base la suma de \$ 300.000 invertidos en el SPILAG.

Tabla 11. Payback por estratos

Estrato	1	2	3	4	5	6
Payback (años)	6,4	5,4	3,6	3,5	2,3	2,1

Según Hincapié y Becerra (2013), en la realidad ha sido difícil reconocer de manera objetiva el costo total de los impactos asociados a consumo de recursos por parte de las empresas, debido a que se desconocen metodologías para su valoración y a la ausencia de políticas que regulen e incentiven su internalización y reconocimiento contable. En relación con lo anterior la implementación de una alternativa de reutilización de aguas grises en viviendas ya construidas en los estratos menos favorecidos, representaría un gasto considerable, el cual idealmente debería ser asumido directamente por el gobierno, y a la larga indirectamente por la sociedad a través de los diferentes impuestos, mientras que para las futuras construcciones, el papel de las entidades respectivas sería el de exigir la inclusión de alternativas en el diseño con lo cual se reducirían los costos en gran manera favoreciendo la sostenibilidad ambiental mediante el uso racional del recurso hídrico.

CONCLUSIONES

En la vivienda seleccionada para una familia de cuatro miembros, se comprobó que la demanda de agua por descargas del sanitario puede suplirse con la oferta de aguas grises procedentes de la lavadora mediante una frecuencia de lavado de dos veces por semana.

El método del proceso analítico jerárquico (AHP) permitió seleccionar objetivamente la mejor alternativa para reutilización de aguas grises, dejándolas organizadas desde la más hasta la menos indicada, esto por medio del procesamiento de los juicios de los expertos en varias matrices, determinando los pesos relativos de los criterios y alternativas de decisión, además permitió verificar la consistencia de cada uno de los criterios evaluados, y por ende, la consistencia de las respuestas de los expertos decisores.

Con la implementación del SPILAG en la vivienda seleccionada, se logró ahorrar en promedio 2,3 metros cúbicos durante el periodo de prueba, lo que significa también un ahorro aproximado del 23% de dinero en la factura mensual de acueducto y alcantarillado.

El SPILAG presentó gran acogida por parte de la familia en la vivienda seleccionada ya que además de los beneficios del ahorro de agua y dinero, hay satisfacción por estar

contribuyendo con el uso racional del recurso hídrico y por ende con la sostenibilidad ambiental.

Para viviendas ya construidas, la implementación de la alternativa Brac o su adaptación (SPILAG) puede presentar inconvenientes derivados de los criterios portabilidad y aspectos técnicos, ante este escenario, el Gris y el Ecoguardián se muestran como las mejores alternativas, mientras que la inclusión del Brac o SPILAG en el diseño de futuras construcciones, la convierten en la más viable para la reutilización de aguas grises domésticas debido a la optimización de recursos.

RECOMENDACIONES

Las caracterizaciones de aguas lluvias y grises revisadas en el presente trabajo muestran que las primeras son menos contaminadas, y presentan menores niveles de sólidos suspendidos y turbiedad además de no presentar coliformes fecales, por lo que se recomiendan para ser utilizadas preferentemente en un sistema como el SPILAG en temporada de lluvias, para lo cual se aconseja utilizar techos y cubiertas plásticas que impidan la acumulación de impurezas.

Se recomienda promover la reutilización de aguas grises por medio del trabajo conjunto entre la academia, el gobierno y la ciudadanía en general con el fin de darle un uso sostenible al recurso hídrico.

AGRADECIMIENTOS

A la señora Inés Pérez Benavides y su familia por prestar su vivienda de la manera más amable para el montaje del SPILAG y a todas las personas que colaboraron en el desarrollo de la investigación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Allen, L. (2015). Manual de diseño para manejo de aguas grises para riego exterior. Recuperado de <https://greywateraction.org/wp-content/uploads/2014/11/finalGWmanual-esp-5-29-15.pdf>
- Alvarado, M. (2007). Tratamiento y reutilización de aguas grises con aplicación a caso en Chile. Recuperado de http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/104596/franco_m.pdf;sequence=3
- AQUA España. (2011). Guía técnica española de recomendaciones para el reciclaje de aguas grises en edificios. Recuperado de <http://www.remosa.net/pdf/GUIA%20TECNICA%20ESPANOLA%20RECICLAJE%20AGUAS%20GRISES.PDF>
- Ardila, M. (2013). Viabilidad técnica y económica del aprovechamiento de aguas grises domésticas. Recuperado de <http://bdigital.unal.edu.co/45618/1/1010165974.2013.pdf>
- CEPAL-ONU. (2018). Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible Una oportunidad para América Latina y el Caribe. Recuperado de https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/40155/15/S1700334_es.pdf
- CRA-Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico . (2016). Resolución CRA 750 De 2016. Recuperado de http://www.cra.gov.co/documents/Resolucion_CRA_750_de_2016-Edicion_y_copia.pdf
- Congreso de Colombia. (1997). Ley 373 de 1997. Recuperado de http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/ley_0397_1997.html
- EMRC-Energy and Minerals Regulatory comisión. (2011). Reuse of Greywater in Western Australia. Recuperado de www.emrc.org.au/.../Documents/.../Reuse-of-greywater-in-Wester
- Espinal, C. Ocampo, D. Rojas, J. (2014). Construcción de un prototipo para el sistema de reciclaje de aguas grises en el hogar. Recuperado de <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/4349/62167E77C.pdf;jsessionid=CD51F53691838F1AEB3AD24E58564F35?sequence=1>
- Hincapié, D. y Becerra, W. (2013). Gestión de costos ambientales hacia el desarrollo sostenible. Recuperado de <https://aprendeenlinea.udea.edu.co/revistas/index.php/tgcontaduria/article/viewFile/323358/20780605>

- HUMBOLDT- Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt y Gobernación de Nariño. (2017). Foro Departamental “Estrategias comunitarias y locales de conservación” Nariño Biodiverso.
- ICONTEC-Instituto Colombiano de Normas Técnicas. (2017). Código Colombiano de fontanería NTC 1500. Recuperado de <http://www.aprocof.co/descargas/icontec/PRESENTACION%20ICONTEC%20NTC-1500%202.pdf>
- Kestler, P. (2004). Uso, reuso y reciclaje del agua residual en una vivienda. Recuperado de http://www.bvsde.paho.org/bvsaar/fulltext/uso_reuso.pdf
- Li, Z. (2010). Rainwater harvesting and greywater treatment systems for domestic application in Ireland. Recuperado de <https://arrow.dit.ie/cgi/viewcontent.cgi?article=1021&context=engschmecart>
- MAVDT-Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2005). Decreto 1013 de 2005. Recuperado de <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=16218>
- MAVDT-Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010). Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico. Recuperado de http://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/Presentaci%C3%B3n_Pol%C3%ADtica_Nacional_-_Gesti%C3%B3n_libro_pol_nal_rec_hidrico.pdf
- MINVIVIENDA-Ministerio de vivienda, ciudad y territorio República de Colombia. (2015). Resolución 549 de 2015. Recuperado de <http://www.minvivienda.gov.co/ResolucionesVivienda/0549%20-%202015.pdf>
- MINVIVIENDA - Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2011). Ley 1450 de 2011. Recuperado de <http://www.minvivienda.gov.co/NormativaInstitucional/1450%20-%202011.pdf>
- Niño, E. y Martínez, N. (2013). Estudio de las aguas grises en tres niveles socioeconómicos de la ciudad de Bogotá. Recuperado de <https://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/11139>
- OPS-Organización Panamericana de la Salud. (2009). Desinfección del agua. Recuperado de <http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsacg/fulltext/libro.pdf>
- Riaño, C. y Palomino, M. (2014). Proceso analítico jerárquico para evaluar tres laboratorios virtuales en la educación superior. Recuperado de www.scielo.org.co/pdf/entra/v11n1/v11n1a14.pdf
- Rodríguez, H. (2005). *Diseños hidráulicos, sanitarios y de gas en edificaciones*. 1° edición. Bogotá, Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería. 229 p.

- Saaty, T. (2001). *The Analytic Network Process. In: Decision Making with the Analytic Network Process*. 2º edición. Pittsburg. Pittsburg University. 360 p.
- Saaty, T. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. Recuperado de https://www.colorado.edu/geography/leyk/geog_5113/readings/saaty_2008.pdf
- Salgot, M. (1994). Prevención del Riesgo Sanitario Derivado de la Reutilización de Aguas Residuales Depuradas. Recuperado de www.mie.esab.upc.es/arr/T20E.htm
- Fresenius, W., Schneider, W., Böhnke, B., & Pöppinghaus, K. M. (1991). Manual de Disposición de Aguas Residuales, Origen, Descarga, Tratamiento y Análisis de las Aguas Residuales. Recuperado de <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/scan/026578/Tomo1/026578-01.pdf>
- Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sostenible de la Gobernación de Nariño e Instituto Von Humboldt. (2017). Foro departamental “Estrategias comunitarias y locales para la conservación” Nariño biodiverso. Pasto. Nariño.
- Suárez, J. Jácome, A. del Río, H. Torres, D y Ures, P. (2012). El reciclaje de aguas grises como complemento a las estrategias de gestión sostenible del agua en el medio rural. Recuperado de [http://Suarez2012ReciclajedeAgrisesestrategiagestin%20\(1\).pdf](http://Suarez2012ReciclajedeAgrisesestrategiagestin%20(1).pdf)
- Torres, A. (2011). Evaluación preliminar de la calidad de la escorrentía pluvial sobre tejados para su posible aprovechamiento en zonas periurbanas de Bogotá. Recuperado de www.scielo.org.co/pdf/rudca/v14n1/v14n1a16.pdf
- Ucañán, R. (2015). Cálculo del periodo de recuperación de la inversión o payback. Recuperado de <https://www.gestiopolis.com/calculo-del-periodo-de-recuperacion-de-la-inversion-o-payback/>
- UNESCO - Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. (2015). Manual de diseño y construcción de sistemas de aguas lluvias en zonas rurales de Chile. Recuperado de <http://eias.utralca.cl/Docs/pdf/Publicaciones/Manual%20Scalls%20Unesco%202015.pdf>
- UNESCO - Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. (2016). Informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo. Recuperado de <http://unesdoc.unesco.org/images/0024/002441/244103s.pdf>
- UNESCO - Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. (2012). The United Nations World Water Development Report 4: Managing Water under Uncertainty and Risk. Recuperado de <http://unesdoc.unesco.org/images/0021/002156/215644e.pdf>

